

УДК 621.922

**ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА
РЕЖИМНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ
АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ
МИРОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Ардашев Д.В.

*Филиал ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»,
Кыштым, e-mail: dva79@ibox.ru*

Современное машиностроение функционирует в условиях жесткой конкуренции и характеризуется постоянным обновлением выпускаемой продукции. В этих условиях особенно остро стоит вопрос сокращения всевозможных расходов на технологическую подготовку производства. Наиболее производительным процессом чистовой обработки деталей машин является шлифование, однако вопрос выбора абразивного инструмента и назначения режимов его работы в настоящее время не решен: абразивный инструмент нередко подбирается наугад, либо в работу принимается тот инструмент, который установлен на станке. Это вызвано широким диапазоном применимости абразивного инструмента – шлифование разных марок сталей и сплавов, а также достижение различной точности обработки. В статье предлагается принципиально новый подход к проектированию операций абразивной обработки: на основе данных об эксплуатационных возможностях инструментов создается континуальное пространство эксплуатации, в котором подбирается характеристика абразивного инструмента во взаимосвязи с режимами его работы и параметрами выполнения операции шлифования.

Ключевые слова: шлифование, проектирование операций шлифования, режимно-инструментальное оснащение, технологический эксплуатационный паспорт шлифовального круга, прогнозирование работоспособности абразивного инструмента

**INFORMATION AND METHODOICAL BASE OF TOOL EQUIPMENT
OF OPERATIONS OF ABRASIVE PROCESSING FOR WORLD
MECHANICAL ENGINEERING**

Ardashev D.V.

*Federal State Budgetary Educational Organization of Higher Education «Southern Ural State
University» (national research university), Kyshtym, e-mail: dva79@ibox.ru*

Modern machinery is operating in a highly competitive and characterized by constant updating of products. In these conditions, particularly acute issue of reducing the various costs of technological preparation of production. The most efficient process of finishing of machine parts is a grinding, but a matter of choice of abrasive tools and use its modes are currently not resolved: grinding often chosen at random or even didn't but use the tool that is installed on the machine. It is caused by a wide range of applicability of abrasive tools – grinding various steels and alloys and achievement of different accuracy. The paper proposes a new approach to the design of sanding operations: creates a continuum space operation which is based on the operational capabilities of the instrument, in this space the characteristic of abrasive tools in conjunction with its operating modes and parameters of the operation of grinding is selected.

Keywords: grinding, design of grinding operations, regime and tool equipment, technological operational passport of a grinding wheel, forecasting of operability of the abrasive tool

В настоящее время задача проектирования операций шлифования решается по нормативным справочникам, в основе которых заложен типовой алгоритм решения технологических задач проектирования операции шлифования: все рекомендации по выбору характеристики круга и режимов шлифования представлены для обработки одного материала – стали 45, на измененные условия обработки введены поправочные коэффициенты [9, 10]. Для обработки заготовок разных деталей, отличающихся материалом, требованиями по точности и шероховатости, нормативы рекомендуют другую характеристику шлифовального круга и режимы шлифования, т.е. нормативы представляют собой строго детерминированные рекомендации, конкретные для каждого шлифуемого материала, наилуч-

шие условия использования круга конкретной характеристики.

Описанные рекомендации применимы в условиях массового производства деталей машиностроения: для изготовления партий больших объемов, при редком изменении ассортимента выпускаемой предприятием продукции действительно выгодно при освоении нового вида продукции затрачивать вспомогательное время на подготовку производства – заменять установленные шлифовальные круги на рекомендуемые справочниками, осуществлять их длительную правку и многократную балансировку. Эффективность операций, спроектированных по таким рекомендациям, обеспечивается применением наилучшей характеристики инструмента, рекомендованной для обработки конкретной заготовки.

Мировое машиностроение развивается в условиях быстрой и частой смены деталей, обрабатываемых малыми партиями. В связи с этим в настоящее время на машиностроительных предприятиях кругом одной характеристики, установленной на станке, обрабатывают большое количество деталей, отличающихся как требованиями чертежа, так и материалом. Поскольку в настоящее время отсутствуют рекомендации по проектированию операций шлифования различных деталей кругом одной характеристики, то для успешного функционирования машиностроительного производства в современных рыночных условиях необходим совершенно иной подход к проектированию операций шлифования.

Кроме того, задача выбора характеристики шлифовального круга в этих условиях приобретает несколько иную значимость: на этапе проектирования операции абразивной обработки при выборе необходимо подобрать такую характеристику инструмента, которая позволила бы с наименьшим падением производительности процесса обработать как можно большее количество заготовок, различающихся не только требованиями качества, но и исходным материалом.

Постановка проблемы

В современном машиностроении отсутствует методическая база для проектирования операций абразивной обработки, т.к. область эффективного использования инструмента в изменяющихся технологических условиях не определена, либо определяется эмпирическим путем, что для успешного функционирования предприятия недостаточно.

В основу создаваемой информационно-методической базы проектирования операций абразивной обработки для условий многономенклатурного производства должна быть положена взаимосвязь между эксплуатационными показателями шлифовальных кругов через режимы их эксплуатации с выходными показателями процесса шлифования – качеством обработанной детали. Для этого необходимы сведения о работоспособности абразивных инструментов в изменяющихся технологических условиях – эмпирические либо расчетные.

Для получения эмпирических численных значений эксплуатационных показателей кругов был разработан испытательный стенд, оборудованный специальными регистрирующими контурами [5, 6].

Была разработана функциональная характеристика, представляющая собой технологические эксплуатационные паспорта

шлифовальных кругов [1–3] и позволяющая решать ряд важнейших технологических задач [4, 12, 13]:

- сравнение инструментов разных характеристик либо производителей без проведения сравнительных или тестовых испытаний;
- определение эффективного времени работы круга – периода его стойкости в различных технологических условиях;
- назначение режимов шлифования;
- определение стабильности выходных показателей процесса шлифования и др.

Поскольку разработанные паспорта созданы в условиях шлифования заготовок из стали 45, то в настоящее время стоит задача разработки прогнозных моделей, позволяющих расширить применение эталонного паспорта для проектирования операций шлифования различных сталей и сплавов. Система прогнозирования эксплуатационных абразивных инструментов позволит расчетным способом наполнять и постоянно обновлять информационную базу для проектирования операций шлифования.

Основным параметром процесса шлифования, в значительной степени влияющим на выходные показатели процесса шлифования, является износ шлифовального круга, следовательно, при разработке прогнозных моделей необходимо, прежде всего, учесть интенсивность и величину различных механизмов износа шлифовального круга.

Решение поставленных задач.

Обсуждение результатов

В качестве основных механизмов износа были выделены два основных – механический (усталостный) и физико-химический.

Для исследований усталостной прочности абразивных зерен был выбран ряд сталей и сплавов, прошедших термическую обработку, соответствующую операциям шлифования. Испытания проводились на образце, предварительно нагретом до температур 20, 200, 400, 600 °С. В качестве индентора принималось единичное зерно формокорунда, имитировался шлифовальный круг и на образце наносились риски [11].

Для количественного определения износа единичных абразивных зерен измерялись следующие выходные параметры процесса:

- величина радиального износа зерна u за все время микрорезания, мм;
- количество циклов нагружения n за все время микрорезания, шт;
- суммарная длина контакта абразивного зерна с материалом f , мм;

• коэффициент термомеханической усталости, рассчитываемый по формуле

$$k_y = \frac{y}{n}; \quad (1)$$

• коэффициент истирания, рассчитываемый по формуле

$$k_f = \frac{y}{f}. \quad (2)$$

Результаты измерений показателей взаимодействия зерен с обрабатываемым материалом приведены в табл. 1. Износ

абразивных зерен и коэффициент термомеханической усталости рассчитывался по результатам трехкратных повторов испытаний при каждой температуре образца [7].

Характер изменения интенсивности износа абразивных зерен из белого электрокорунда при обработке второй группы исследуемых материалов – высоколегированных сталей – примерно одинаков: изменение концентраций никеля и титана изменяют лишь величину интенсивности примерно в 1,5 раза.

Таблица 1

Результаты испытаний

Показатель	Температура, град.	Марка стали					
		45	40X	40XH	38XГН	12ХН3А	12Х18Н10Т
		Величина показателя					
Радиальный износ y , мм	21	0,015	0,019	0,017	0,018	0,021	0,015
	200	0,016	0,016	0,018	0,015	0,016	0,015
	400	0,016	0,013	0,015	0,012	0,018	0,016
	600	0,015	0,011	0,014	0,010	0,019	0,019
	800	0,015	0,011	0,014	0,013	0,014	0,019
Количество циклов нагружения n , шт	21	60	65	60	90	50	60
	200						
	400						
	600						
	800						
Коэффициент термомеханической усталости $k_y, 10^{-3}$	21	0,263	0,289	0,368	0,206	0,439	0,292
	200	0,272	0,249	0,349	0,196	0,349	0,249
	400	0,276	0,198	0,315	0,139	0,356	0,273
	600	0,258	0,173	0,268	0,111	0,402	0,317
	800	0,251	0,169	0,261	0,147	0,398	0,314
Коэффициент истирания $k_f, 10^{-3}$	21	1,051	0,701	0,656	0,620	0,970	0,712
	200	0,845	0,956	0,955	0,795	1,089	0,715
	400	0,598	0,550	0,833	0,666	0,944	0,455
	600	0,583	0,499	0,533	0,548	0,633	0,338
	800	0,499	0,506	0,441	0,540	0,556	0,355

Исследование физико-химического взаимодействия абразивного и обрабатываемого материала выполнялось с применением электронного сканирующего микроскопа JSM 6460LV (JEOL, США) с использованием энергодисперсионной приставки, позволяющей провести полный качественный и количественный химический анализ в выбранных точках, а также получать карты распределений элементов по площади и вдоль выбранной линии.

В качестве исследуемых образцов были изготовлены кубики из электрокорунда белого. Кубики вводились в контакт с плоскими образцами из различных марок сталей, помещались в печь, нагревались до 1000°C, выдерживались и охлаждались на воздухе [8].

Одним из наиболее важных факторов, отличающих шлифование от других методов механической обработки, является кратковременность контакта отдельного абразивного зерна с обрабатываемым материалом – порядка $2 \cdot 10^{-5}$ с, однако, как это ни странно, именно этот факт в значительной степени повышает вероятность протекания диффузионных и реакционных процессов в зоне шлифования: наибольшая скорость взаимного растворения контактирующих веществ наблюдается при значительном сокращении времени их контакта. Это объясняется, прежде всего, значительным градиентом концентраций контактирующих веществ друг в друге: в электрокорунде отсутствует железо, а в рассматриваемых сталях нет алюминия.

Поскольку процессы, протекающие между абразивным и обрабатываемыми материалами, не ограничиваются взаимодействием только железа и алюминия, а представляют собой более сложные химические взаимодействия, обусловленные наличием и концентрациями легирующих элементов в стали, то для описания взаимосвязи толщины диффузионной прослойки и времени контакта материалов можно применить параболический закон Фика.

При расчете величины коэффициента химического средства D использовалась величина толщины диффузионной прослойки x , измеренная по химическому спектру, полученному при химическом анализе вдоль линии. Физический смысл коэффициента средства аналогичен смыслу коэффициента диффузии: это коэффициент пропорциональности, характеризующий диффузионный поток между сталью и электрокорундом при градиенте концентраций последних на границе их контакта (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты химического средства электрокорунда белого с различными обрабатываемыми сталями

Марка стали	Толщина диффузионной зоны $x \cdot 10^{-3}$, мм	Коэффициент химического средства $D \cdot 10^{-10}$, мм ² /с
45	8,3300	18,9
40X	3,6600	3,6
40XH	4,9600	6,7
38XГН	8,0000	17,4
12ХН3А	4,5200	5,5
38XC	3,6600	3,6
BT-15	4,8700	6,4
OT-3	4,9100	6,5
У8А	4,8300	6,3
ШХ-15	4,8300	6,3
СЧ-20	4,7100	6,0

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования по химическому взаимодействию обрабатываемого и абразивного материала позволяют утверждать, что в контакте абразивного зерна с обрабатываемым материалом синтезируется третье вещество. Рассчитанные коэффициенты химического средства абразивного и обрабатываемого материала позволяют разработать обобщенную модель износа шлифовального круга, учитывающую его физико-химический механизм.

Обобщая, можно заключить, что для успешного функционирования мирового машиностроения и реализации ресурсосбе-

регающей энергоэффективной технологии абразивной обработки необходимо:

1. На основе учета различных механизмов износа абразивных зерен разработать математическое обеспечение в виде прогнозных моделей для основных показателей работоспособности абразивных инструментов.

2. На основе прогнозных моделей создать информационное пространство эксплуатационных возможностей абразивных инструментов, эксплуатирующихся в различных технологических условиях.

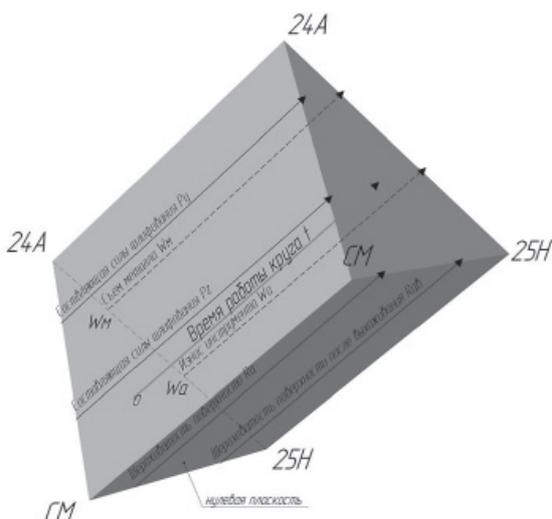
3. Разработать методологическую основу инновационного режимно-инструментального оснащения операций абразивной обработки для условий многономенклатурного производства.

4. Создать единую методику проектирования операций абразивной обработки – выбор характеристики инструмента и режимов обработки – на основе учета взаимосвязи эксплуатационных возможностей инструмента, технологических условий его эксплуатации и выходных показателей выполнения операции шлифования.

Решение обозначенных выше задач позволит разработать современные функциональные интерактивные справочники режимов абразивной обработки, позволяющие проектировать эффективные шлифовальные операции и эксплуатировать абразивные инструменты в широком диапазоне технологических условий многономенклатурного производства.

Визуализация информационного пространства проектирования эффективных операций абразивной обработки представлена на рисунке в виде участка континуального пространства, в котором содержатся все сведения, необходимые для проектирования операций абразивной обработки в современных условиях мирового машиностроения.

Пространство представляет собой множество решений – технологических эксплуатационных паспортов шлифовальных кругов, представленных в виде объемных призм. В основе призмы лежит равносоставленный треугольник: количество вершин основания призмы равно количеству основных параметров характеристики круга, изменяющихся и учитываемых при построении пространства – материал зерна, зернистость, твердость. Центральная ось призмы – ось времени, учитывает временную нестационарность и изменчивость величин эксплуатационных показателей. Изменение величин эксплуатационных показателей представлено в виде осей, расположенных попарно на каждой стороне основания призмы.



Фрагмент континуального информационного пространства режимно-инструментального оснащения операций абразивной обработки

Таким образом, задача разработки современного ресурсосберегающего режимно-инструментального оснащения операций абразивной обработки, осуществляемых в условиях многономенклатурного производства, может быть решена при помощи создания пространства для проектирования таких операций, которое позволит:

1. Выбирать характеристику абразивного инструмента для обработки группы деталей, изготовленных из материалов, схожих по химическому составу (конструкционные, хромоникелевые, марганцовистые и др. стали).
2. Одновременно назначать технологические режимы эксплуатации абразивного инструмента выбранной характеристики, обеспечивающих требуемый уровень эксплуатационных показателей. При этом критерием оптимальности может служить любой из эксплуатационных показателей, представленных в технологическом паспорте.

Список литературы

1. Ардашев Д.В. Комплекс показателей оценки эксплуатационных свойств шлифовальных кругов // Технология машиностроения. – 2010 – № 9. – С. 30–33.
2. Ардашев Д.В. Комплексное описание эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2012. – № 33. – С. 113–116.
3. Ардашев Д.В. Основы групповой технологии шлифования // Вестник машиностроения. – 2012. – № 11. – С. 54–55.
4. Ардашев Д.В. Режимно-инструментальное оснащение проектирования групповой технологии операций шлифования // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел, 2011. – № 4/2(288) – С. 14–19.
5. Ардашев Д.В., Кошин А.А. Система измерения эксплуатационных показателей абразивного инструмента // Патент России № 107996. – 2011. – Бюл. № 25.
6. Ардашев Д.В., Кошин А.А., Чаплыгин Б.А. Система измерения эксплуатационных показателей абразивного инструмента // Патент России № 97078. – 2010. – Бюл. № 24.

7. Ардашев, Д.В. Термомеханическая усталость абразивного зерна // Металлообработка. – 2012. – № 4. – С. 2–4.
8. Ардашев, Д.В. Химическое сродство абразивного и обрабатываемого материалов // Металлообработка. – 2011. – № 6. – С. 29–32
9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорезающих станках. – Ч. 3 Протяжные, шлифовальные и доводочные станки. – 3-е изд. – 1978. – 360 с.
10. Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник / Д.В. Ардашев, Д.Е. Апельчик, Г.И. Буторин и др. – Челябинск: Изд-во АТОКСО, 2007. – 384 с.
11. Ардашев Д.В., Кошин А.А. Дьяконов А.А. Стенд для исследования взаимодействия инструмента и образца при высокоскоростных методах обработки // Патент России № 113362. – 2012. – Бюл. № 4.
12. Ardashev D.V. Standardization of grinding wheels // Russian Engineering Research, Allerton Press Inc. – 2011. – Vol. 31, № 9. – P. 910–912.
13. Ardashev D.V. Two-parameter assessment of grinding wheel performance // Russian Engineering Research, Allerton Press Inc. – 2010. – Vol. 30, № 7. – P. 705–707.

References

1. Ardashev D.V. Complex of indicators of an assessment of operational properties of grinding wheels // Technology of mechanical engineering. 2010 no. 9. pp. 30–33.
2. Ardashev D. V. Complex description of operational opportunities of grinding wheels // Vestnik of the Southern Ural state university. 2012. no. 33. pp. 113–116.
3. Ardashev D.V. The group technology of grinding // Vestnik of mechanical engineering. 2012. no. 11. pp. 54n55.
4. Ardashev D.V. Regime-tool equipment of design of group technology of grinding operations // Fundamental and applied problems of equipment and technology. 2011. no. 4/2(288). pp. 14–19.
5. Ardashev D.V., Koshin A.A. System of measurement of operational indicators of the abrasive tool // Patent of Russia No. 107996. 2011. Bulletin no. 25.
6. Ardashev D.V., Koshin A.A. Tchapygin B.A. System of measurement of operational indicators of the abrasive tool // Patent of Russia No. 97078. 2010. Bulletin no. 24.
7. Ardashev D.V. Thermomechanical fatigue of abrasive grain // Metal working. 2012. no. 4. pp. 2–4.
8. Ardashev D.V. Chemical affinity of abrasive and processed materials // Metal working. 2011. no. 6. pp. 29–32.
9. Machine-building standards of modes of cutting for technical rationing of works on metal-cutting machines / Part 3: lingers, grinding and honing Machines / Edition 3rd. 1978. 360 p.
10. Cutting modes for the works which are carried out on grinding and hand-operated honing machines and semiautomatic devices / D.V. Ardashev, D.E. Anelchik, G.I. Butorin, etc. 2007. 384 p.
11. Ardashev D.V., Koshin A.A. Deacons of A.A The mechanism for research of interaction of the tool and a sample at high-speed methods of processing // Patent of Russia no. 113362. 2012. Bulletin no. 4.
12. Ardashev D.V. Standardization of grinding wheels // Russian Engineering Research, Allerton Press Inc. 2011. Vol. 31. no. 9. pp. 910–912.
13. Ardashev D.V. Two-parameter assessment of grinding wheel performance // Russian Engineering Research, Allerton Press Inc. 2010. Vol. 30, no. 7. pp. 705–707.

Рецензенты:

Переверзев П.П., д.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ), г. Челябинск;
 Дубровин В.К., д.т.н., доцент кафедры технологии обработки материалов, филиала ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ), г. Кыштым.
 Работа поступила в редакцию 07.05.2013.